

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-60928

(43)公開日 平成5年(1993)3月12日

(51)Int.Cl.⁵

G 0 2 B 6/12
6/30

識別記号

A 7036-2K
7132-2K

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数6(全 7 頁)

(21)出願番号 特願平3-221853

(22)出願日 平成3年(1991)9月2日

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社
東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72)発明者 河野 健治

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日
本電信電話株式会社内

(72)発明者 吉本 直人

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日
本電信電話株式会社内

(72)発明者 神徳 正樹

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日
本電信電話株式会社内

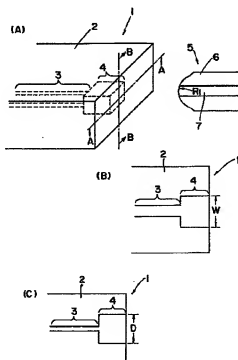
(74)代理人 弁理士 光石 俊郎

(54)【発明の名称】 導波路形スポットサイズ変換素子

(57)【要約】

【目的】 光導波路の厚み方向も含め、スポットサイズのより大きな変換効率を得ることができるようにする。

【構成】 第一の光導波路のコア3に接続されるスポットサイズ変換用光導波路のコア4の幅及び厚みを大きくして多モード伝搬とし、この出射光を先球S M F 5のコア7に結合する。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 導波光のスポットサイズが小さい第1の光導波路と、導波光のスポットサイズが大きい第2の光導波路と、これらを接続すると共にスポットサイズを変換するスポットサイズ変換用光導波路とを少なくとも有し且つ前記第1の光導波路及び第2の光導波路がほぼ単一モードの光を伝搬する導波路形スポットサイズ変換素子において、前記スポットサイズ変換用光導波路を多モード光導波路とすると共に該多モード光導波路内でのモード変換効果により前記第1の光導波路から入射して伝搬する導波光のスポットサイズを拡大するよう当該多モード光導波路の長さを設定したことを特徴とする導波路形スポットサイズ変換素子。

【請求項2】 導波光のスポットサイズが小さい第1の光導波路と、導波光のスポットサイズが大きい第2の光導波路と、これらを接続する共にスポットサイズを変換するスポットサイズ変換用光導波路とを少なくとも有し且つ前記第1の光導波路及び第2の光導波路がほぼ単一モードの光を伝搬する導波路形スポットサイズ変換素子において、前記スポットサイズ変換用光導波路を多モード光導波路とすると共に該多モード光導波路内でのモード変換効果により前記第2の光導波路から入射して伝搬する導波光のスポットサイズを縮小するよう当該多モード光導波路の長さを設定したことを特徴とする導波路形スポットサイズ変換素子。

【請求項3】 請求項1又は2において、スポットサイズ変換用光導波路として複数の多モード光導波路を用いたことを特徴とする導波路形スポットサイズ変換素子。

*

$\eta = 4 / (w_1 / w_2 + w_2 / w_1)^2$ (1)
と表される。そして、例えば、 w_1 が $0.5 \mu\text{m}$ で w_2 が $1 \mu\text{m}$ の場合、結合損失 $(-10 \cdot \log(\eta))$ は 1.9 dB 、 w_1 が $2 \mu\text{m}$ では 5.0 dB となる。さて、(1) から、光導波路間の結合損失を低減するためには、スポットサイズを一致させればよいことがわかる。受光用光導波路として単一モード光ファイバ（以下、SMFと略す）を用いる場合、そのスポットサイズ w_2 は約 $5 \mu\text{m}$ であり、半導体光導波路と直接結合させたのでは結合損失が極めて大きくなる。そこで、後述のように※

$\eta = \exp(-x^2/w^2)$
で与えられ、スポットサイズ w がサブミクロンと小さい時には結合損失が大幅に増加し、軸ずれのトレランスが極めて厳しくなる。また、実際には、先球SMFの先端のRを小さくしても研磨の際の加工精度のためスポットサイズを $0.5 \mu\text{m}$ 程度にまで小さくすることは大変難しい（以上の参考文献：河野健治著、「光デバイスのための光結合系の基礎と応用」（現代工業社））。そこで、半導体光導波路のスポットサイズを大きくすることが必要となる。

【0004】 従来における半導体光導波路のスポットサ

2

* 【請求項4】 請求項1、2又は3において、スポットサイズ変換用光導波路の少なくとも一部に単一モード光導波路を用いたことを特徴とする導波路形スポットサイズ変換素子。

【請求項5】 請求項1、2、3又は4において、スポットサイズ変換用光導波路と第2の光導波路との間に少なくとも1個のレンズを挿入したことを特徴とするスポットサイズ変換素子。

【請求項6】 請求項1、2、3、4又は5において、第1の光導波路、スポットサイズ変換用光導波路及び第2の光導波路の対をアレー状に並べたことを特徴とする導波路形スポットサイズ変換素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、光導波路における光の結合損失を低減できる導波路形のスポットサイズ変換素子に関する。

【0002】

【従来の技術】 光導波路においては、導波光のスポットサイズは結合損失に大きく影響する。なお、以下の説明においては、光の界分布をガウシアン分布でフィッティングした場合にそのパワー分布がピークの値の $1/e^2$ になる値（半値）をスポットサイズとする。

【0003】 一般に、半導体光導波路の場合、コアとクラッドの屈折率差が大きいため半導体光導波路を伝搬する光のスポットサイズはサブミクロンオーダーと小さくなる。スポットサイズが w_1 と w_2 との2つのガウシアンビームが結合する場合の結合効率 η は、

※ 先端を研磨してレンズ効果を持たせてスポットサイズを小さくする、いわゆる先球加工単一モード光ファイバ（以下、先球SMFと略す）が用いられる。ところが、先球SMFのスポットサイズをサブミクロンオーダーにまで小さくすると軸ずれのトレランスの問題が生じてくる。つまり、スポットサイズ w の2個のガウシアンビームが光軸に垂直に x だけ軸ずれして結合する場合の結合効率 η は

(2)

イ変換の一例を図5に示す。図5(A)は一例の斜視図、図5(B)、(C)はそのC-C線断面図及びD-D線断面図であり、0.1は半導体光導波路、0.2はそのクラッド、0.3は出射用光導波路のコア、0.4はスポットサイズ変換用光導波路のコア、0.5は受光用光導波路としての先球SMF、0.6はそのクラッド、0.7はそのコアを示す。ここで、出射用光導波路とスポットサイズ変換用光導波路とは共に単一モード伝搬となるように設計されており、スポットサイズ変換用光導波路のコア0.4は出射用光導波路のコア0.3との接続端から出射端に

3

向って幅が漸少している(図5(B)参照)。なお、スポットサイズ変換用光導波路のコア04の厚みは出射用光導波路のコア03の厚みと同一である(図5(C)参照)。

【0005】この従来例の動作原理を説明する。スポットサイズ変換用光導波路のコア04は図5(A)や図5(B)からわかるように先端の幅が徐々に細くなっているため、出射用光導波路のコア03を伝搬してきた光がスポットサイズ変換用光導波路のコア04にさしかかると、光がクラッド02へ漏れだす量が多くなり、光の界分布が広がることになる。この結果、スポットサイズが大きくなり、式(1)に与えた結合損失を低減することができる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、こうした従来例においてはスポットサイズ変換用光導波路として単一モード光導波路を用いている。このため、スポットサイズを大きくするには、スポットサイズ変換用光導波路の導波路幅を細くすることが要求されるが、加工上の制約からあまり細くできず(せいぜい0.4 μm 程度)スポットサイズを大幅に大きくすることはできない。また、細くし過ぎると光導波路として伝搬モードが存在できない状態、即ちカットオフ状態になってしまう。さらに、図5(C)からわかるように、導波路の厚み(通常は0.1 μm から0.4 μm 程度)を薄くすることは加工上大変難しく、スポットサイズは横方向にのみ広がり、深さ方向には閉じ込められたままとてしまい、スポットサイズ変換の効率が小さいという欠点がある。

【0007】本発明はこのような事情に鑑み、従来と比較して、光導波路の厚み方向も含め、スポットサイズのより大きな変換効率を得ることができる導波路形スポットサイズ変換素子を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】前記目的を達成する本発明に係る導波路形スポットサイズ変換素子は、導波光のスポットサイズが小さい第1の光導波路と、導波光のスポットサイズが大きい第2の光導波路と、これらを接続すると共にスポットサイズを変換するスポットサイズ変換用光導波路とを少なくとも有し且つ前記第1の光導波路及び第2の光導波路がほぼ単一モードの光を伝搬する導波路形スポットサイズ変換素子において、前記スポットサイズ変換用光導波路を多モード光導波路とすると共に該多モード光導波路内でのモード変換効果により前記第1の光導波路から入射して伝搬する導波光のスポットサイズを拡大するよう当該多モード光導波路の長さを設定したことを特徴とし、また、導波光のスポットサイズが小さい第1の光導波路と、導波光のスポットサイズが大きい第2の光導波路と、これらを接続する共にスポットサイズを変換するスポットサイズ変換用光導波路とを

4

少なくとも有し且つ前記第1の光導波路及び第2の光導波路がほぼ単一モードの光を伝搬する導波路形スポットサイズ変換素子において、前記スポットサイズ変換用光導波路を多モード光導波路とすると共に該多モード光導波路内でのモード変換効果により前記第2の光導波路から入射して伝搬する導波光のスポットサイズを縮小するよう当該多モード光導波路の長さを設定したことを特徴とする。

【0009】

【作用】第1の光導波路からの導波光は多モード光導波路からなるスポットサイズ変換用光導波路に入ると、各モード間の伝搬速度に差があるためこれを重ね合わせて形成した導波光の形状が伝搬距離と共に変化した導波光が広がり、結合損失が小さい状態で第2の光導波路に結合される。一方、第2の光導波路からの導波光は多モード光導波路内で導波光が縮小し、結合損失が小さい状態で第1の光導波路に結合される。

【0010】

【実施例】以下、本発明を実施例に基づいて説明する。【0011】図1には第1の実施例を示す。図1(A)は斜視図、図1(B)、(C)はそのA-A線断面図及びB-B線断面図であり、図中、1は半導体光導波路、2はそのクラッド、3は第1の光導波路のコア、4はスポットサイズ変換用光導波路のコア、5は第2の光導波路としての先球SMF、6はそのクラッド、7はそのコアである。本実施例では、スポットサイズ変換用光導波路のコア4の幅W及び厚みDを極めて大きくしており、この結果、スポットサイズ変換用光導波路が多モード光導波路となるよう設計されている。なお、半導体光導波路の場合、このスポットサイズ変換用光導波路は結晶再成長技術により容易に形成できる。また、第1の光導波路、及び第2の光導波路としての先球SMF 5は単一モード伝搬となっており、第1の光導波路の導波光のスポットサイズは小さく、先球SMFの導波光のスポットサイズは大きい。なお、先球SMF 5の先端のR₁は図5のR₁より大きくもなっている。

【0012】図2は図1に示した本発明の第1の実施例についての3次元ビーム伝搬法による計算結果である。ここで、第1の光導波路のコア3を伝搬する導波光のスポットサイズは2 μm と仮定した。スポットサイズ変換用光導波路のコア4はバンドギャップ波長が1.3 μm にInGaAsPにより構成されているとし、その幅Wと厚みDは各々2 μm と仮定した。導波路解析によればこのスポットサイズ変換用光導波路には数多くのモードが伝搬し、多モード光導波路となっている。

【0013】ここで、本発明の原理について説明する。第1の光導波路のコア2を伝搬する導波光を ϕ_0 、多モード光導波路であるスポットサイズ変換用光導波路のコア3を伝搬しているモードを ϕ_i とする(i は固有関数とよばれ、 $i=0, 1, 2, \dots, N$)。第1の光導波路

5

のコア3を伝搬する導波光 ψ_i が、スポットサイズ変換用光導波路のコア4に入射すると、次式(2)のように*

$$\psi_i = \sum c_i \phi_i$$

ここで、 c_i は展開係数であり、 Σ は i についての0から N までの和を表している(前述の参考文献を参照)。導波光 ψ_i がスポットサイズ変換用光導波路のコア4に入射した直後はスポットサイズ変換用光導波路内の高次モードの寄与のため、導波光 ψ_i はほぼ同じ形の導波光に再現され伝搬する。ところが、各モード間の伝搬速度に差があるため、これらを重ね合わせて形成した導波光の形状が伝搬距離とともに変わってくる(この場合には広がる)。この結果、図2に示したようにスポットサイズ変換用光導波路の長さとともに結合損失を低減することができる。なお、ここでは入力用光導波路として先球S M Fを想定したが、通常のS M Fでもよく、その場合にはスポットサイズ変換用光導波路とS M Fの間にレンズを挿入すればよい。また、図2から、この場合の結合損失はスポットサイズ変換用光導波路の長さが5.5 μ mの時に最小となるが、さらに長くなると再び増加しほぼ元の値となることからわかる。これはモード変換が引き続き生じ、最適な界分布からずれてくるためであると考えられる。この光の伝搬の様子を図3に示す。同図からスポットサイズ変換用光導波路内における導波光の形状の変化の様子がわかる。なお、図3は伝搬距離を5 μ mとした様子を示す。

【0014】一方、本実施例においては光の入出力を反転する、即ち先球S M F 5から光を出射すると、スポットサイズ変換用光導波路内において導波光の広がりは縮小され、第1の光導波路のコア3に効率よく光を結合できる。

【0015】なお、第1の光導波路を伝搬する導波光のスポットサイズが0.5 μ mである図2においては $W=D=2\mu$ mとしたが、 W と D がこれ以上大きくなると逆に結合損失が大きくなることを計算により確認している。これは、0.5 μ mという小さなスポットサイズに起因する回折結果(波面の歪効果)のためであると考えられる。そこで、 W と D をなるべく大きくして、先球S M Fとの結合損失を一層下げるには第1の光導波路を伝搬する導波光のスポットサイズをなるべく大きくするよう工夫すればよい。即ち、例えば、第1の光導波路のコア3の射出側をテーパー状に細くする。あるいは異なった幅と厚みの複数の多モード光導波路を多段接続して、多モード光導波路の幅と厚みを徐々に大きくしてもよい。さらには、例えば最終段にコアとクラッドとの屈折率差を小さくすることによりスポットサイズを拡大した単一モード光導波路を形成してもよい。この実施例を図4に示す。

【0016】図4は図1(B)に対応する断面図であ

6

*導波光 ψ_i はスポットサイズ変換用光導波路のコア4の固有関数 ϕ_i で展開される。

(2)

り、図中、11は半導体光導波路、12はそのクラッド、13は第1の光導波路のコア、14A、14Bは多モード光導波路のコア、14Cは単一モード光導波路のコアである。すなわち、本実施例では、スポットサイズ変換用光導波路を3段階にして、コア14A、14Bで幅と厚みを徐々に大きくし、さらに射出端を単一モード光導波路としている。これにより、先球S M F等との結合損失を一層下げることができる。また、この場合には所定の多モード光導波路の先端に単一モード光導波路が形成されているが、単一モード光導波路は長さを長くしてもモード変換を起こさないでクリーブによる端面加工が容易となるという効果も奏する。

【0017】以上、実施例では半導体光導波路について説明したが、本発明は石英導波路などの誘電体光導波路、あるいはアレー形光導波路の場合にも適用可能であることは言うまでもない。

【0018】

【発明の効果】以上説明したように、本発明ではこのスポットサイズ変換のために多モード光導波路を用い、多モード光導波路内のモード変換効果を利用するとともに多モード光導波路の長さを最適に設定することにより、従来の単一モード光導波路を用いたスポットサイズ変換素子と比較してスポットサイズの変換効率を向上でき、さらに光導波路の厚み方向のスポットサイズも大きくできるという効果も奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施例に係るスポットサイズ変換素子を説明する斜視図及びそのA-A線、B-B線断面図である。

【図2】本発明の原理を示す説明図である。

【図3】本発明の原理を示す説明図である。

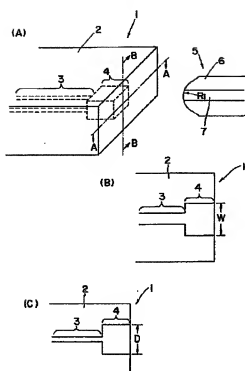
【図4】他の実施例を示す断面図である。

【図5】従来のスポットサイズ変換の一例を示す斜視図及びそのC-C線、D-D線断面図である。

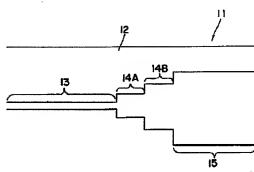
【符号の説明】

- 1, 11 半導体光導波路
- 2, 12 クラッド
- 3, 13 第1の光導波路のコア
- 4, 14A, 14B 多モード光導波路のコア(スポットサイズ変換用光導波路)
- 5 先球S M F(第2の光導波路)
- 6 クラッド
- 7 コア
- 14C 単一モード光導波路のコア(スポットサイズ変換用光導波路)

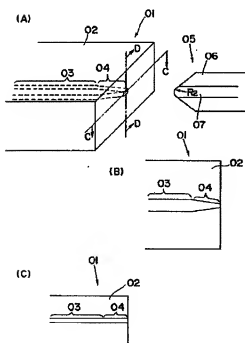
【図1】



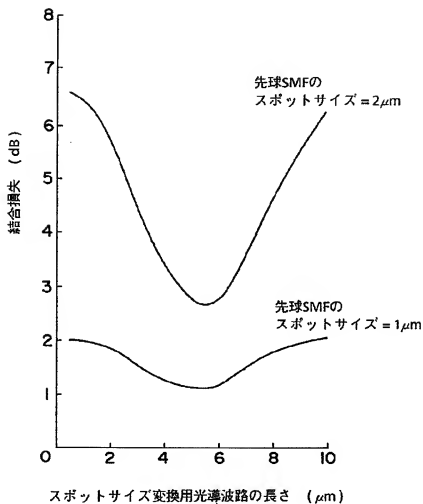
【図4】



【図5】



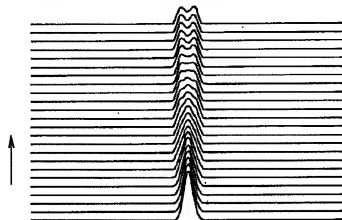
【図2】

出射用光導波路のスポットサイズ $= 0.5 \mu\text{m}$ 

【図3】

スポットサイズ変換光導波路内における導波光の変化の様子
(伝搬距離 $5\mu\text{m}$)

(A) 基板平行方向成分 (深さ方向座標はコア中心とした)



(B) 基板垂直方向成分 (横方向座標はコア中心とした)

